บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มโดยวิธีการวัดทางแสงที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้โดยแสดงเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีรีแอคทีฟแมกนีตรอน สปัตเตอริง

การทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีรีแอคทีฟแมกนีตรอนสปัตเตอริง โดยทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการเคลือบ 4 5 6 และ 7 ชั่วโมง ในการวิเคราะห์สมบัติทางแสงของฟิล์มได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโครปีกอีลิปโซเมทรีและเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี อีกทั้งเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

5.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาด้วยเทคนิคสเปกโตรสโครปีกอีลิปโซเมทรี

การวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโครปีกอีลิปโซเมทรี พบว่า แบบจำลองทางกายภาพสองชั้นและแบบจำลองทางแสงของคอร์ชี มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มในช่วงพลังงานโฟตอน 0.06-3 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นช่วงแสงที่ตามองเห็นและช่วงรังสีอินฟราเรด (k=0) และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าคงที่ทางแสงในช่วงพลังงานโฟตอน 0.06 ถึง 6 อิเล็กตรอนโวลต์ พบว่า แบบจำลองทางกายภาพสองชั้นและแบบจำลองทางแสงของทาวน์ลอเรนซ์ 2 ออสซิเลเตอร์ สามารถวิเคราะห์เพื่อหาค่าตัวแปรของสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดีตลอดทั้งช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงแสงที่ตามองเห็นและช่วงรังสีอินฟราเรด ทั้งนี้ เนื่องจากสมการทาวน์ลอเรนซ์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่กล่าวถึงการสั่นของกลุ่มอะตอมที่คล้ายกับการสั่นของสปริง เพื่ออธิบายค่าดัชนีหักเหเชิงซ้อน (Complex index of refraction) ในเทอมของ ε_1 และ ε_2 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน ค่าดัชนีหักเห และค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของวัตถุที่ใกล้กับช่องว่างพลังงาน ดังนั้นแบบจำลองทาง

แสงจากสมการทาวน์ลอเรนซ์ จึงสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าคงที่ทางแสงของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ในช่วงพลังงานโฟตอน 0.75-6 อิเล็กตรอนโวลต์ ได้อย่างถูกต้อง

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์ม ในช่วงพลังงานโฟตอน 0.06 ถึง 6 อิเล็กตรอนโวลต์ พบว่า ฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์มีค่าดัชนีหักเหลดลงเมื่อใช้เวลาในการเคลือบเพิ่มขึ้นจาก 4 ถึง 7 ชั่วโมง โดยค่าดัชนีหักเหที่พลังงานโฟตอน 2.25 อิเล็กตรอนโวลต์ มีค่า 2.13 ถึง 2.05 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้เวลาในการเคลือบต่างกัน และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญไปคำนวณเพื่อหาค่าช่องว่างพลังงานของฟิล์ม พบว่า มีค่า 5.25 ถึง 5.3 อิเล็กตรอนโวลต์ และเมื่อใช้เวลาในการเคลือบฟิล์มมากขึ้นฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 440 ถึง 795 นาโนเมตร ทั้งนี้ ความหนาของฟิล์มที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโครปีกอีลิปโซเมทรีมีความหนาใกล้เคียงกับความหนาของฟิล์มจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดไม่เกิน 5 %

5.1.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี

การวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหและความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรีเป็นวิธีที่สามารถหาค่าดัชนีหักเหจากการนำค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงมาคำนวณด้วยสมการ Swanepole จากศึกษาพบว่า สามารถวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูงสุดและต่ำสุด โดยในช่วงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรขึ้นไป สามารถคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของฟิล์มด้วยความแม่นยำ ทั้งนี้ เนื่องจากช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับบริเวณมีการดูดกลืนแสงน้อย และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มที่มีความหนาเพิ่มขึ้น พบว่า สามารถวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหได้มากขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากมีข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูงสุดและต่ำสุดที่ความยาวคลื่นดังกล่าวได้มากขึ้น โดยค่าดัชนีหักเหของฟิล์มที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีหักเหที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีกอีลิปโซเมทรี และเมื่อเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการแทรกสอดของแสง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับความหนาของฟิล์มจากภาพถ่ายกล้องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดไม่เกิน 6 %

5.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มที่เตรียมด้วยวิธีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ส่งผลต่อสมบัติทางแสงของฟิล์ม จากการศึกษา พบว่า เมื่อนำฟิล์มเซอร์โคเนียมที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีสปัตเตอริงมาทำการอบในบรรยากาศเป็นเวลา 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่า ฟิล์มมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านไม่เกิน 10% แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ฟิล์มมีค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงสูงประมาณ 80% ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการอบ 500 องศาเซลเซียส สามารถเกิดเป็นฟิล์มออกไซด์ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส และเมื่อนำฟิล์มเซอร์โคเนียมไปทำการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 15 30 และ 60 นาที พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น อิทธิพลของอุณหภูมิส่งผลต่อการเกิดฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์มากกว่าอิทธิพลของเวลา

จากการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 15 30 และ 60 นาที ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโครปีกอีลิปโซเมทรี พบว่า แบบจำลองทางกายภาพสองชั้นและแบบจำลองทางแสงของทาวน์ลอเรนซ์ด้วย 2 ออสซิเลเตอร์ สามารถทำการเปรียบเทียบผลจากการการสร้างแบบจำลองกับผลการวัดได้เฉพาะในช่วงพลังงานโฟตอน 0.06 ถึง 5 อิเล็กตรอนโวลต์ เนื่องจากในการเตรียมฟิล์มด้วยวิธีนี้ ฟิล์มมีความไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบผลในช่วง 5 ถึง 6 อิเล็กตรอนโวลต์ได้ และจากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มพบว่า ค่าดัชนีหักเหของฟิล์มมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการอบฟิล์มสูงขึ้น ส่วนความหนาของฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเวลาในการเคลือบต่างกัน โดยความหนาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีกอีลิปโซเมทรีมีค่าใกล้เคียงกับความหนาจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความหนาไม่เกิน 5%

5.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มที่เคลือบเพื่อป้องกันการสะท้อนแสง

ในการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและความหนาของฟิล์มที่เคลือบเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโครสโครปิกอีลิปโซเมทรี เนื่องจากเทคนี้สามารถทราบค่าดัชนีหักเหตลอดช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น และสามารถวิเคราะห์ความหนาของแต่ละชั้นฟิล์มที่ทำการเคลือบเป็นฟิล์ม 5 ชั้นได้ โดยฟิล์มที่เคลือบเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ชั้นฟิล์มซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นชั้นที่มีค่าดัชนีหักเหต่ำสลับชั้นกับฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ที่มีค่าดัชนีหักเหสูง ทั้งนี้การวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหและความหนาของฟิล์ม 5 ชั้น เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องเคลือบฟิล์มป้องกันการสะท้อนแสงที่เตรียมจากการโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำการเคลือบฟิล์มจากเครื่องเคลือบทั้งหมด 3 เครื่อง จากการศึกษาพบว่า ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหและความหนาของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ 1 ชั้น สามารถใช้แบบจำลองทางแสงของคอร์ซี ในขณะที่การวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหและความหนาของฟิล์มซิลิกอนไดออกไซด์สามารถใช้แบบจำลองทางแสงของเซลล์

จากการนำค่าดัชนีหักเหของฟิล์มซิลิกอนไดออกไซด์สลับชั้นกับค่าดัชนีหักเหของฟิล์มเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ เป็นจำนวน 5 ชั้น พบว่า แบบจำลองสำหรับฟิล์ม 5 ชั้น ที่ทำการ Couple ค่าดัชนีหักเหเฉพาะชั้นฟิล์มซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีหักเหและความหนาของแต่ละชั้นฟิล์ม และจากผลการวิเคราะห์พบว่า ฟิล์มบาง 5 ชั้น ที่ทำการเคลือบจากเครื่องเคลือบที่สาม มีค่าดัชนีหักเหและความหนาในแต่ละชั้นฟิล์มแตกต่างจากค่าดัชนีหักเหและความหนาจากเครื่องเคลือบที่หนึ่งและสอง แต่ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาการนำฟิล์มบาง 5 ชั้น มาใช้งานเพื่อป้องกันการสะท้อนแสง โดยพิจารณาการส่งผ่านแสงของฟิล์ม พบว่า ฟิล์มบาง 5 ชั้นจากการเคลือบด้วยเครื่องเคลือบทั้งสามมีค่าการส่งผ่านแสงใกล้เคียงกัน ดังนั้น เครื่องเคลือบฟิล์มทั้งสามมีประสิทธิภาพในการเคลือบฟิล์มบาง 5 ชั้น สำหรับป้องกันการสะท้อนแสงได้ใกล้เคียงกัน

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์ฟิล์มด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปิกอีลิปโซเมทรี ควรเตรียมฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ค่าคงที่ทางแสงและความหนาของฟิล์มด้วยความแม่นยำ

2. ในการวิเคราะห์ฟิล์มด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี ควรวัดเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านในช่วงที่ใกล้กับช่องว่างพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบค่าช่องว่างพลังงานจากเทคนิคสเปกโตรสโคปิกอีลิปโซเมทรีกับเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี

3. ทำการเปรียบเทียบความหนาของชั้นผิวขรุขระด้วยเทคนิค Atomic force microscopy กับเทคนิค SE และเปรียบเทียบความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิค SE เทคนิค FE-SEM และ เทคนิค TEM